

# PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN EN TUBERÍAS

Ing. José Gregorio Rendón

**La corrosión es la principal causa de fallas en tuberías alrededor del mundo. Cuando una tubería falla, ocasiona grandes impactos en términos de pérdidas de producción, daños a la propiedad, contaminación y riesgo a vidas humanas.**

Tuberías desprotegidas, enterradas bajo tierra, expuestas a la atmósfera o sumergidas en agua son susceptibles a la corrosión. Sin el apropiado mantenimiento, cualquier sistema de tuberías eventualmente puede deteriorarse. La corrosión puede debilitar la integridad estructural de la tubería y convertirla en un vehículo inseguro de transporte de fluidos. Sin embargo existen técnicas para extender indefinidamente la vida de las líneas de transporte de fluidos

El presente trabajo tiene por objeto ilustrar el fenómeno de la corrosión, así como los tipos y métodos para controlarlas.

## LEY DE LA ELECTRÓLISIS

Por definición, la corrosión es la destrucción de un metal o metales, a través de la interacción con un ambiente (ejem. suelo o agua) por un proceso electroquímico, es decir, una reacción que envuelve un flujo de corriente eléctrica e intercambio de iones.

En tuberías enterradas, o sumergidas en elementos acuosos, el proceso de corrosión es similar a la acción que tiene lugar en una pila de linterna, formada por un electrodo de carbón que ocupa el centro de la pila y un electrodo de zinc que hace de recipiente, separados ambos electrodos por un electrolito compuesto en esencia por una solución de  $\text{CINH}_4$  (fig. 1). Una lámpara incandescente conectada a ambos electrodos se enciende continuamente debido a la energía eléctrica que suministran las reacciones químicas que tienen lugar en ambos electrodos. En el electrodo de carbón (polo positivo-cátodo), tiene lugar una reducción química y en el electrodo de zinc (polo negativo-ánodo), se realiza la oxidación por la cual el zinc metálico es convertido en iones hidratados,  $\text{Zn}^{2+} - n\text{H}_2\text{O}$ . Cuanto mayor es el flujo de electricidad a través de la pila, mayor es la cantidad de zinc que se corroe. Esta relación es cuantitativa como la demostró Michael Faraday a principios del siglo XIX (ley de Faraday):

$$\text{Peso del metal reaccionante} = kIt.$$

donde  $I$  es la intensidad en amperios,  $t$  es el tiempo y  $k$  una constante llamada *equivalente electroquímico*. El valor de  $k$  en el caso del zinc es  $3,39 \times 10^{-4}$  g/C, definiéndose como culombio la cantidad de electricidad que pasa cuando una corriente de 1 A circula en 1 s.

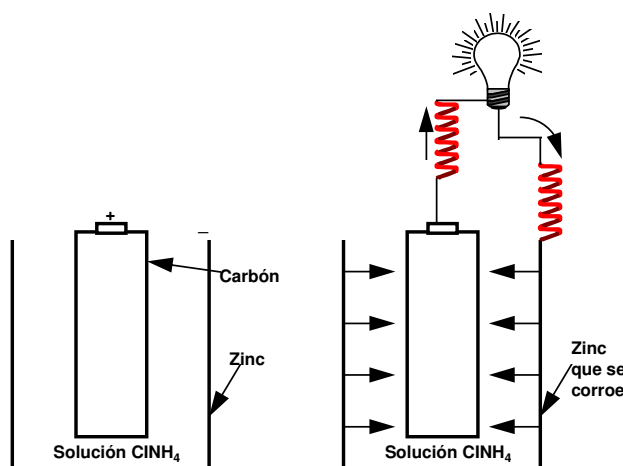


Figura 1 Pila Seca

## EL CASO DE UNA TUBERÍA DE ACERO

Una tubería de acero vista al microscopio presenta una configuración similar a la fig. 2, es decir, granulada. Cada uno de estos "granos", de acuerdo al proceso de fabricación y calidad del material, se comporta como un electrodo con una tendencia ánódica o catódica específica.

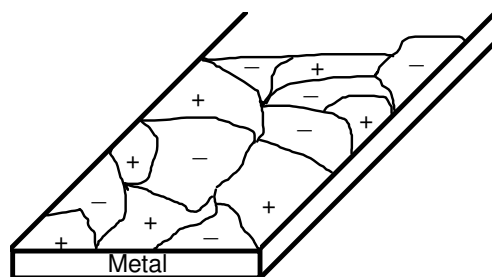
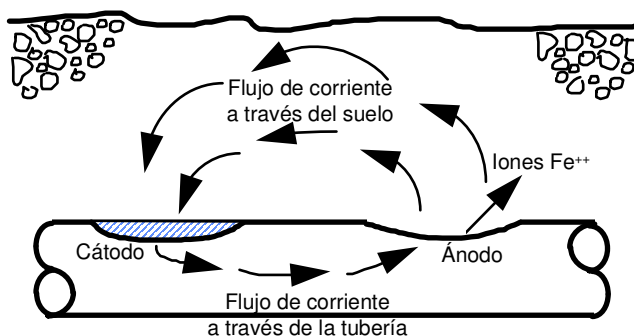


Figura 2. Vista ampliada de una superficie metálica.

Para que se conforme una pila o se cierre el circuito entre estos polos, es necesario un cable o medio electrolítico que transporte los electrones. Para el caso de la tubería enterrada este medio de transporte de electrones lo conforma el suelo y



la tubería misma. (Ver fig. 3).

Figura 3

La zona con tendencia anódica cede electrones y la zona de tendencia catódica los recibe. El equivalente eléctrico de este circuito o celda de corrosión lo observamos en la figura 4.

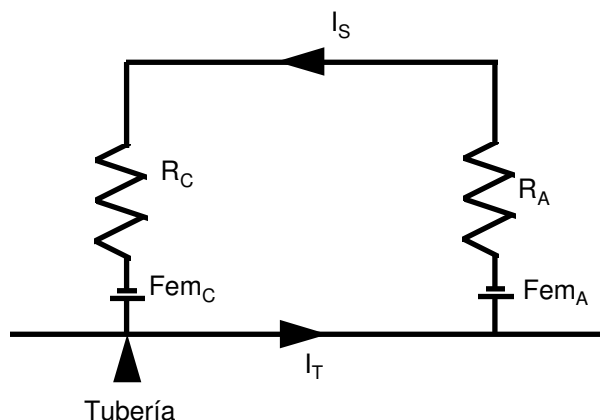


Figura 4

En el interfase entre el metal y el suelo existe una fuerza electromotriz (FEM), también llamado potencial de referencia. Cuando la corriente fluye, la fuerza electromotriz cambia de tal manera que las proximidades entre el metal y el suelo pueden ser representada por una resistencia en serie con una fuente de FEM.

Estos dos circuitos juntos representan una celda de corrosión en la cual  $Fem_C$  es el potencial del cátodo,  $R_C$  la resistencia del cátodo,  $Fem_A$  es el potencial del ánodo,  $R_A$  es la resistencia del ánodo y finalmente  $I$  es la corriente a través del circuito.

## PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Todo material metálico sin la debida protección y en un medio que propicie el intercambio de electrones es susceptible a

corroerse.

Existen cuatro métodos comúnmente utilizados para controlar la corrosión en tuberías, estos son recubrimientos protectores y revestimientos, protección catódica, selección de materiales e inhibidores de corrosión.

**Recubrimientos y revestimientos:** estas son las principales herramientas contra la corrosión, a menudo son aplicados en conjunción con sistemas de protección catódica para optimar el costo de la protección de tuberías.

**Protección Catódica:** es una tecnología que utiliza corriente eléctrica directa para contrarrestar la normal corrosión externa del metal del que esta constituido la tubería. La protección catódica es utilizada en los casos donde toda la tubería o parte de ella se encuentra enterrada o sumergida bajo el agua. En tuberías nuevas, la protección catódica ayuda a prevenir la corrosión desde el principio; en tuberías con un período de operación considerable puede ayudar a detener el proceso de corrosión existente y evitar un deterioro mayor.

**Selección de Materiales:** se refiere a la selección y empleo de materiales resistentes a la corrosión, tales como: acero inoxidable, plásticos y aleaciones especiales que alarguen la de vida útil de una estructura, por ejemplo de la tubería. Sin embargo, en la selección de materiales resistentes a la corrosión el criterio fundamental no es, en esencia, la protección de una estructura, sino la protección o conservación del medio donde esta existe.

**Inhibidores de Corrosión:** son sustancias que aplicadas a un medio particular, reducen el ataque del ambiente sobre el material. bien sea metal o acero de refuerzo en concreto. Los inhibidores de corrosión extienden la vida de las tuberías, previniendo fallas y evitando escapes involuntarios.

Evaluar el ambiente en el cual está la tubería o en el sitio donde se ha de colocar, es muy importante para el control de la corrosión, no importa cual método o combinación de estos se emplee. Modificar el ambiente en las inmediaciones de la tubería, como por ejemplo reducir la humedad o mejorar el drenaje, puede ser una manera simple y efectiva de reducir la potencialidad de la corrosión.

Además, emplear personal entrenado en el control de la corrosión es crucial para el éxito de cualquier programa de mitigación de corrosión.

## ***PROTECCIÓN DE TUBERÍAS SUPERFICIALES***

Las tuberías expuestas al aire libre, son propensas al depósito o acumulación de agua, polvo, herrumbre, escapes de vapor salitre, etc. La acumulación de estas sustancias en tuberías aéreas forma pequeñas pilas galvánicas que eventualmente corroen la superficie del metal. La aplicación de pintura y un programa de limpieza superficial y mantenimiento es suficiente para alargar la vida útil de la tubería. Sin embargo la aplicación del recubrimiento de pintura debe hacerse con especial cuidado, para que cumpla su misión de aislante de agentes externos. A continuación se describe el tratamiento que debe aplicarse.

- Eliminar la grasa y depósitos de aceite, depositada en la superficie del metal, mediante el empleo de trapos limpios saturados con un adelgazador o gasolina blanca (libre de plomo).
- Para eliminar el barniz de fábrica, escamas de laminación, herrumbre, salpicaduras de soldadura y humo, tierra, etc. deberá frotarse la tubería con un cepillo de alambre hasta obtener una superficie completamente limpia, de color gris metálico brillante. En caso de existir depósitos fuertes de óxido y escorias de fundición, se removerán, con martillo y cincel y luego se utilizará cepillo de alambre.
- Antes de aplicar el fondo o pintura base, la superficie deberá limpiarse cuidadosamente con un paño humedecido en solvente para eliminar partículas de hierro y alambre producidas al utilizar la limpieza con cepillo metálico.
- Como primera capa de recubrimiento se debe aplicar dos manos de un imprimador de agarre. Como película intermedia se utiliza comúnmente rojo óxido de plomo, igualmente a dos capas. Por último como capa de acabado utilice dos manos de un esmalte compatible con el sistema imprimante y película intermedia.
- En aquellos puntos donde la pintura tienda a deslizarse dejando puntos propicios para la corrosión, tales como: soldadura, ángulos, bordes y esquinas se efectuarán retoques de fondo a fin de aumentar el espesor de la película.

Es recomendable que, como sistema de recubrimiento, se apliquen las películas de imprimante, capa intermedia y capa de acabado de un mismo fabricante de pintura. Igualmente conveniente es cumplir con las recomendaciones del fabricante de recubrimiento en cuanto a la preparación de la superficie, implementos de pintura, mezcla del producto y técnica de aplicación.

El cumplimiento de este proceso y un programa de inspección y mantenimiento de la línea nos garantizará la prolongación de la vida útil de la tubería.

## ***PROTECCIÓN DE TUBERÍAS ENTERRADAS***

Las tuberías enterradas, a diferencia de las superficiales, se encuentran completamente sumergidas en un medio electrolítico. Cada suelo tiene características particulares de resistividad-conductividad específicas, y a lo largo de la longitud de la línea esta resistividad varía por efectos de cercanías a cuerpos de agua, instalaciones enterradas, bases de edificaciones, torres de alta tensión, otras tuberías, etc.. Para garantizar la protección contra la corrosión de una tubería enterrada no es suficiente el recubrimiento de pintura. Es necesario la aplicación de revestimientos que aislen la tubería del medio en que se encuentra. Estos revestimientos pueden ser: polietileno o polipropileno, resina epóxica, brea epóxica, imprimante y cinta plástica adhesiva (teipe), etc.. El polietileno, polipropileno y resina epóxica son de aplicación industrial y las tuberías deben enviarse a plantas de revestimiento especializadas en aplicar este tipo de protección a los tubos. La brea y la combinación de imprimantes y teipe pueden aplicarse en sitio.

Ningún revestimiento garantiza una protección del 100%. Impurezas en el material o proceso de aplicación de la capa protectora, golpes o ralladuras al momento del transporte o instalación pueden disminuir el aislamiento. Es por esta razón que para garantizar la prolongación de la vida útil de una tubería revestida se acompaña de un sistema de protección catódica.

La manera básica como funciona un sistema de protección catódica se ilustra en la figura 5.

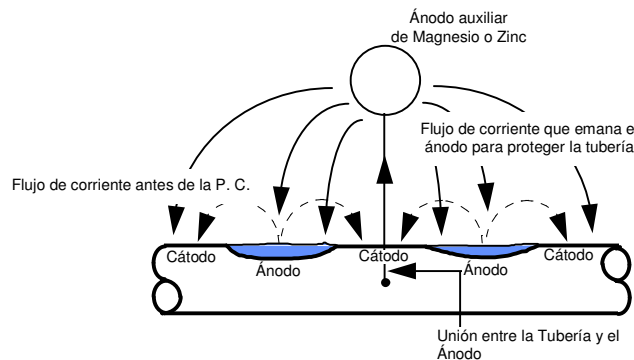


Figura 5

Esta figura muestra como el área afectada del tramo de tubería mostrado en la figura 3 es convertido en cátodo con cancelación de todas las áreas de descarga de corriente a través de la superficie de la tubería; es decir, el ánodo auxiliar suministra la corriente que antes suministraban las áreas ánódicas de la superficie del tubo. El circuito eléctrico equivalente se muestra en la figura 6.

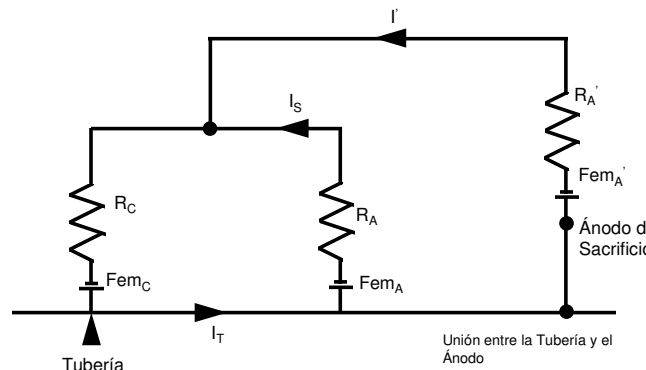


Figura 6.

A diferencia del circuito de celda de corrosión, este muestra una  $Fem_A'$  como potencial auxiliar del ánodo, una  $R_A'$  como una resistencia auxiliar entre el ánodo y el suelo e  $I'$  como la corriente proveniente del ánodo externo.

El circuito mostrado en la figura 6, puede plantearse de una manera más compleja si incluimos la resistencia del revestimiento y la resistencia de los rellenos utilizados en los lechos de ánodos para mejorar la capacidad de emisión de corriente del mismo. Igualmente podríamos incluir el rectificador utilizado en los sistemas de protección por corriente impresa, donde la corriente cedida por el ánodo es aportada por una fuente de corriente directa. Sin embargo para todos los casos el principio es el mismo: un elemento denominado ánodo de sacrificio, suplente la corriente que, eventualmente, las zonas ánódicas de la superficie de la tubería (puntos de corrosión) estarían en situación de entregar para hacer funcionar la celda de corrosión.

Otras situaciones como interferencia con estructuras metálicas, distanciamiento entre líneas enterradas y torres de alta tensión son áreas de atención especial donde debemos tomar previsiones adicionales, para evitar fugas de carga o corrosión acelerada de alguno de los dos elementos en interferencia. Igualmente cuando la tubería aflora a la superficie o se interconecta

con alguna instalación superficial, debemos colocar empacaduras aislantes para evitar escapes de corriente de protección r necesarias en instalaciones aéreas.

## ***Consideraciones finales***

El control de la corrosión es un proceso continuo y dinámico. La clave de un efectivo control de la corrosión en tuberías está en la calidad del diseño y la instalación de los equipos; en el empleo de la tecnología apropiada, un mantenimiento continuo y monitoreo ejecutado por personal entrenado. Un efectivo programa de monitoreo e inspección puede ser la mejor garantía contra problemas relacionados con la corrosión.

El control efectivo de la corrosión extiende la vida útil de cualquier tubería. El costo de una parada inesperada por un escape supera en magnitud los gastos que acarrea la instalación de un sistema de protección contra la corrosión. Controlar el deterioro de las tuberías por corrosión ahorra dinero, preserva el ambiente, protege la integridad de las instalaciones y de las vidas humanas.

**Dirección de correos del autor:** José Gregorio Rendón [mmr1@telcel.net.ve](mailto:mmr1@telcel.net.ve)

## **Fuente**

NACE, "PIPELINE CORROSION" An Issue Paper from NACE International, Approved March 12, 1997.

CORBETT, RICHARD A. "Cathodic Protection as an Equivalent Electrical Circuit". 1985.

SOLDITECA, "PROTECCIÓN CATODICA". 1991

*Para obtener mayor información sobre este tópico, puede comunicarse directamente con la Superintendencia de Asistencia Técnica Especializada de PDVSA-GAS, por los teléfonos:*

(041) 506.820      (041) 506.940

(041) 506.815      (041) 506.885